

ФІЛЬТР НИЖНІХ ЧАСТОТ НА С-НЕГАТРОНІ

Лазарєв О. О., к.т.н., доцент

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

Частотні фільтри електричних сигналів широко використовуються у всіх радіотехнічних пристроях та входять до складу будь-якої телекомунікаційної системи. Характеристики фільтрів визначають параметри частотної селективності радіотехнічних пристроїв та якість телекомунікаційних систем, тому є актуальною задачею покращення параметрів та характеристик частотних фільтрів. Одним із шляхів покращення характеристик частотних фільтрів є використання нової елементної бази, зокрема R-, L-, C-негатронів (приладів, що в певному режимі роботи мають від'ємне значення основного диференційного параметру: від'ємний активний опір (R-негатрони), від'ємна індуктивність (L-негатрони), від'ємна ємність (C-негатрони) [1 - 3].

Метою роботи є покращення характеристик фільтра нижніх частот за рахунок використання C-негатрона.

Для досягнення поставленої мети в роботі виконуються такі задачі:

1. Аналіз частотних характеристик фільтра нижніх частот на C-негатроні.
2. Розробка та дослідження фільтра нижніх частот з покращеними частотними характеристиками.

Схема найпростішого ідеального фільтра нижніх частот на C-негатроні наведена на рис. 1. В даній схемі враховується лише від'ємна ємність $C^{(-)}$ C-негатрона. В практичній реалізації C-негатронів з використанням фізичних явищ (фізичні C-негатрони) та схемотехнічних рішень (схемотехнічні C-негатрони), до еквівалентної схеми C-негатрона будуть входити також додатний або від'ємний активний опір [2] та параметри елементів еквівалентної схеми будуть частотозалежними.

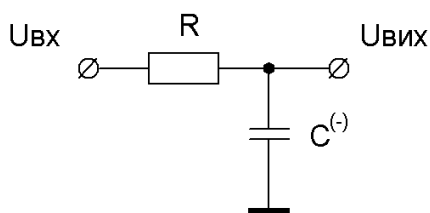


Рисунок 1. Найпростіший ідеальний фільтр нижніх частот на C-негатроні

Комплексний коефіцієнт передачі даного фільтра визначається виразом:

$$K(j\omega) = \frac{U_{вих}(j\omega)}{U_{вх}(j\omega)} = \frac{1}{1 + j\omega RC^{(-)}}.$$

Звідки одержимо вирази для амплітудно-частотної характеристики $K(\omega)$ (АЧХ) та фазочастотної характеристики $\varphi(\omega)$ (ФЧХ) фільтра:

$$K(\omega) = |K(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC^{(-)})^2}}, \quad \varphi(\omega) = -\arctg(\omega RC^{(-)}).$$

Частоту зрізу ω_{zp} даного фільтра визначимо з умови $K(\omega_{zp}) = 1/\sqrt{2}$. Так як $C^{(-)} < 0$, то $\omega_{zp} = -1/RC^{(-)}$. На частоті зрізу фазовий зсув становить $\varphi(\omega_{zp}) = -\arctg(-1) = 45^\circ$. На рис. 2 наведені нормовані АЧХ та ФЧХ фільтра нижніх частот на С-негатроні та фільтра прототипу (RC-фільтра нижніх частот на додатній ємності), де $\Omega = \omega/\omega_{zp}$ - нормована частота. Графіки побудовані в програмі Mathcad.

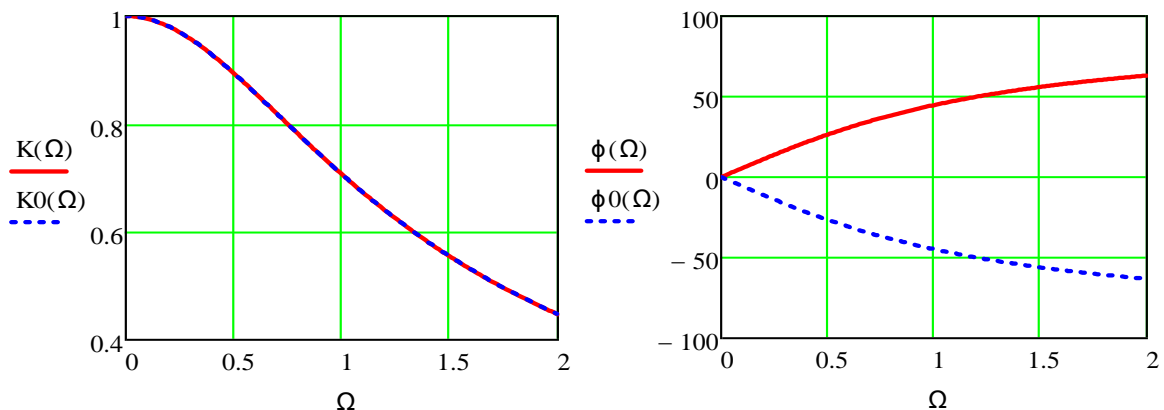


Рисунок 2. АЧХ $K(\Omega)$ та ФЧХ $\varphi(\Omega)$ фільтра нижніх частот на С-негатроні, АЧХ $K_0(\Omega)$ та ФЧХ $\varphi_0(\Omega)$ фільтра-прототипу

З наведених на рис. 2 частотних характеристик видно, що АЧХ фільтрів є однаковими, проте ФЧХ фільтрів є протилежними. Так фільтр нижніх частот на С-негатроні на частоті зрізу ($\Omega = 1$) має фазовий зсув 45° , а фільтр на додатній ємності має фазовий зсув -45° . Дана властивість дозволяє використовувати фільтр на С-негатроні для компенсації фазових спотворень сигналу в RC-фільтрі нижніх частот на додатній ємності.

Спрощена схема фільтра нижніх частот з покращеною фазочастотною характеристикою на С-негатроні та схемотехнічна реалізація на операційному підсилювачі (ОП) зображена на рис. 3. Результати моделювання фільтра в програмі Micro-Cap наведені на рис. 4.

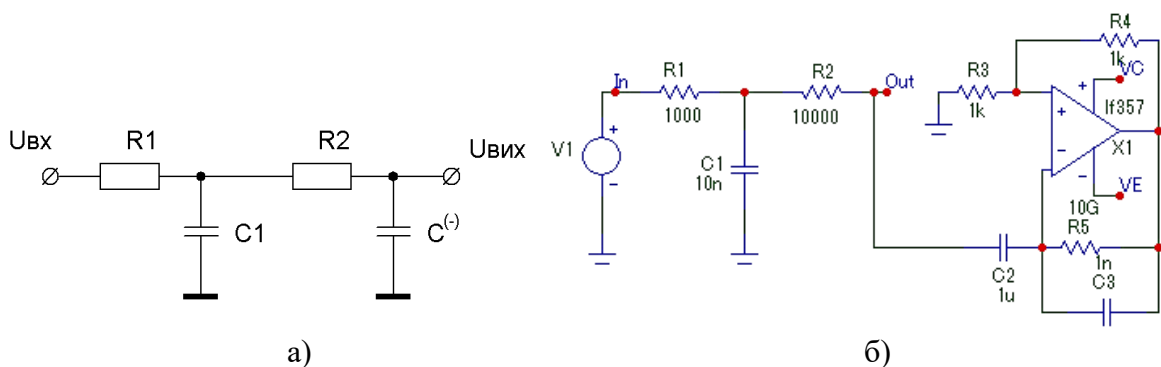


Рисунок 3. Схеми фільтра нижніх частот з покращеною фазочастотною характеристикою: а) спрощена схема, б) схема на схемотехнічному С-негатроні на ОП

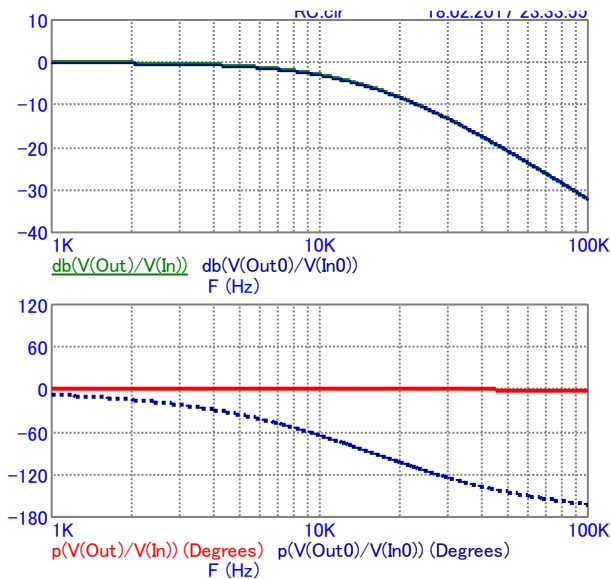


Рисунок 4. АЧХ (зверху) та ФЧХ (знизу) фільтрів нижніх частот 2-го порядку

З наведених АЧХ та ФЧХ даного фільтра (рис. 4) видно, що крутість спаду АЧХ після частоти зрізу становить близько 12дБ на октаву, а фазовий зсув на частоті зрізу лише $0,2^\circ$ (проти 90° для фільтра 2-го порядку на додатних елементах). Таким чином використання С-негатрона дозволяє усунути фазові спотворення сигналу в фільтрі нижніх частот. Однак наявність від'ємної ємності в схемі фільтра робить його потенційно-нестійким, а також впливає на чутливість фільтра, що потребує додаткових досліджень.

Перелік посилань

1. Filinyuk N.A. Short historical review of development of scientific branch “negatronics” / N.A. Filinyuk A.A. Lazarev // AEU - International Journal of Electronics and Communications, Volume 68, Issue 2, February 2014, P. 172-177, ISSN 1434-8411, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aeue.2013.07.015>.
2. Філінюк М.А. LC-негатрони та їх застосування: монографія / М.А. Філінюк, О.О. Лазарев, О.В. Войцеховська. - Вінниця: ВНТУ, 2012. - 308 с.
3. Філінюк М. А. Основи негатроніки : Моногр. Т. 1. Теоретичні і фізичні основи негатроніки / М. А. Філінюк - Вінниця : Універсум-Вінниця, 2006. - 456 с.

Анотація

Розглянуті характеристики фільтра нижніх частот на С-негатроні. Показано, що використання С-негатрона дозволяє усунути фазові спотворення сигналу в фільтрі нижніх частот.

Ключові слова: С-негатрон, від'ємна ємність, фільтр нижніх частот.

Аннотация

Рассмотрены характеристики фильтра нижних частот на С-негатроне. Показано, что использование С-негатрона позволяет устранить фазовые искажения сигнала в фильтре нижних частот.

Ключевые слова: С-негатрон, отрицательная емкость, фильтр нижних частот.

Abstract

Characteristics of the low-pass filter on the C-negatron are considered. It is shown that the use of C-negatron eliminates phase distortion of a signal in the low-pass filter.

Keywords: C-negatron, negative capacitance, low-pass filter.